

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08088419 A**

(43) Date of publication of application: **02.04.96**

(51) Int. Cl.

**H01L 41/083**  
**H01L 41/22**

(21) Application number: **06222179**

(22) Date of filing: **16.09.94**

(71) Applicant: **KAWASAKI HEAVY IND LTD**

(72) Inventor: **YANASE ETSUYA**  
**KASA YOSHITOKU**  
**TOKAI MASAKUNI**

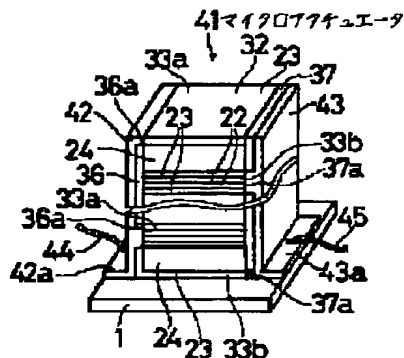
(54) **MICRO-ACTUATOR AND ITS MANUFACTURE**

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(57) Abstract:

PURPOSE: To provide a micro-actuator and its manufacturing method by which driving can be performed at a low voltage and the crystal property of a piezoelectric layer can be improved.

CONSTITUTION: A laminated body 32 of a micro-actuator 41 is constituted by laminating a specified laminating number of piezoelectric members having electrodes 23 on both sides of laminated layers 24 formed by a film forming steps using vapor deposition by the junction of an anode junction method. The connection of electrode layers 33a and 33b is performed through grooves 36a and 37a by forming the grooves 36a and 37a in insulating layers 36 and 37 after the formation of the insulating layers 36 and 37 at the side surfaces of the laminated body 32. The thickness of a piezoelectric layer 24 is set at the value of 0.1-10 $\mu$ m. The piezoelectric layer 24 is constituted of a crystal. The C axis of the crystal is oriented in the thickness direction of the piezoelectric layer 24.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-88419

(43) 公開日 平成8年(1996)4月2日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 41/083 41/22			H 0 1 L 41/ 08 41/ 22	Q Z
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 8 頁)				

(21) 出願番号 特願平6-222179

(22) 出願日 平成6年(1994)9月16日

(71) 出願人 000000974

川崎重工業株式会社

兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号

(72) 発明者 柳瀬 悦也

兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社明石工場内

(72) 発明者 嵩 良徳

兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社明石工場内

(72) 発明者 東海 正國

兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社明石工場内

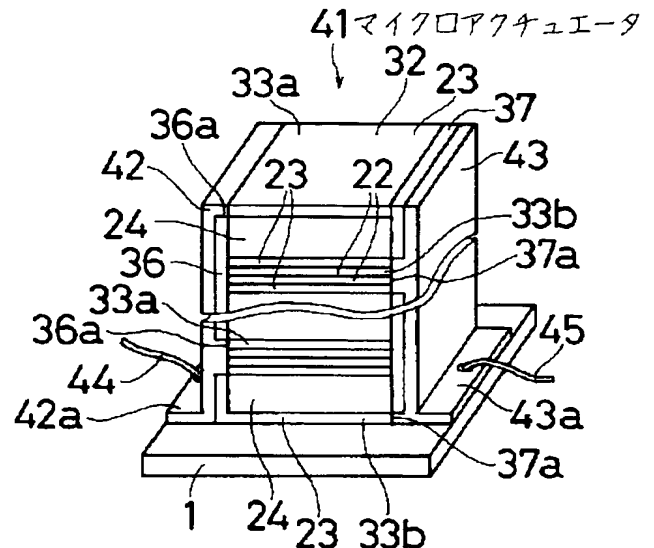
(74) 代理人 弁理士 西教 圭一郎 (外2名)

(54) 【発明の名称】 マイクロアクチュエータおよびその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 低電圧で駆動可能で、圧電層の結晶性を向上することができるマイクロアクチュエータおよびその製造方法を提供する。

【構成】 マイクロアクチュエータ41の積層体32は、蒸着による成膜工程によって形成された圧電層24の両側に電極23を有する圧電部材が、陽極接合法による接合によって所定の積層数だけ積層されて構成される。電極層33a、33bと外部電極43との接続は、積層体32の側面に絶縁層36、37を形成した後、その絶縁層36、37に溝36a、37aを形成し、その溝36a、37aを介して行われる。圧電層24の厚さは、0.1 $\mu$ m～10 $\mu$ mの値に設定される。また圧電層24は結晶によって構成され、その結晶のC軸は圧電層24の厚み方向に配向されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 圧電性および電歪性を有する圧電層と電極層とが交互に積層される積層体の側面に、互いに対向する一対の絶縁層が形成され、奇数番目の各電極層の一端部および偶数番目の各電極層の他端部に達する溝が、絶縁層の表面に複数形成され、絶縁層の表面に、前記溝を介して電極層に電氣的に接続される外部電極が形成されることを特徴とするマイクロアクチュエータ。

【請求項 2】 前記圧電層が結晶で構成され、前記結晶の C 軸が圧電層の厚み方向に配向されていることを特徴とする請求項 1 記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 3】 積層体が電気絶縁性の基板に固定され、基板に前記外部電極が接続される接続電極が設けられ、その接続電極にリード線が接続されることを特徴とする請求項 1 記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 4】 前記圧電層が、 $0.1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ の範囲の厚さを有することを特徴とする請求項 1 記載のマイクロアクチュエータ。

【請求項 5】 基板表面に、電極層、圧電性および電歪性を有する圧電層、および電極層を順次蒸着し、圧電部材を作製する成膜工程と、2つの圧電部材を電極層が互いに対向するように接合する接合工程と、両端の2つの基板のうちの一方の基板を除去し、電極層を露出させ、積層した圧電部材を作製する基板除去工程とを備え、接合工程と基板除去工程とを繰返して、所定の積層数だけ積層させた圧電部材を得ることを特徴とするマイクロアクチュエータの製造方法。

【請求項 6】 圧電性および電歪性を有する圧電層と電極層とが交互に積層される積層体の側面に、互いに対向する一対の絶縁層を形成する絶縁層形成工程と、奇数番目の各電極層の一端部および偶数番目の各電極層の他端部に達する溝を、絶縁層の表面に複数形成するエッチング工程と、絶縁層の表面に、前記溝を介して電極層に電氣的に接続される外部電極を形成する外部電極形成工程とを備えることを特徴とするマイクロアクチュエータの製造方法。

【請求項 7】 積層体が固定された電気絶縁性の基板に、前記外部電極が接続される接続電極を設け、接続電極にリード線を接続することを特徴とする請求項 6 記載のマイクロアクチュエータの製造方法。

【請求項 8】 前記接合工程において、陽極接合法、表面活性化接合法、または接着剤接合法が用いられることを特徴とする請求項 5 記載のマイクロアクチュエータの製造方法。

【請求項 9】 前記エッチング工程における溝の形成は、FIB法、ドライエッチング法またはウェットエッチング法によって行われることを特徴とする請求項 6 記

載のマイクロアクチュエータの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、入力された電気信号を変位や力に変換するマイクロマシンの駆動源などに用いられ、与えられた変位や力を電気信号に変換する加速度センサや超音波センサなどのセンサとしても使用可能なマイクロアクチュエータおよびその製造方法に関する。

## 【0002】

10 【従来の技術】従来のマイクロアクチュエータは、表面に電極層となる導電性ペーストが塗布されたグリーンシートが積層された積層体を焼成し、焼成された積層体の側面に、互いに対向する一対の外部電極が設けられて形成される。積層体の奇数番目の各電極層の一端部、および偶数番目の各電極層の他端部が積層体の側面に露出している部分には、筋状の絶縁体がそれぞれ形成され、外部電極は、絶縁体の上から積層体の側面に設けられ、電極層が両側の外部電極に交互に接続される（特開平 6-84409, 特開平 6-120579）。

## 20 【0003】

【発明が解決しようとする課題】上述の従来技術では、積層体の形成にグリーンシート法が用いられるので、グリーンシートが焼成されて成る圧電層の厚さに下限、数十 $\mu\text{m}$ があり、圧電層の厚さを薄くすることができない。圧電層の厚さが厚いと、マイクロアクチュエータを駆動するのに高い電圧、たとえば数百ボルトの電圧が必要となり、その結果、通常の IC（大規模集積回路）での駆動が困難である。

30 【0004】また、グリーンシート法で圧電層を形成すると、圧電層の結晶性が悪くなり、圧電層の圧電特性および電歪特性が悪くなる。

【0005】本発明の目的は、低電圧で駆動可能で、圧電層の結晶性を向上することができるマイクロアクチュエータおよびその製造方法を提供することである。

## 【0006】

40 【課題を解決するための手段】本発明は、圧電性および電歪性を有する圧電層と電極層とが交互に積層される積層体の側面に、互いに対向する一対の絶縁層が形成され、奇数番目の各電極層の一端部および偶数番目の各電極層の他端部に達する溝が、絶縁層の表面に複数形成され、絶縁層の表面に、前記溝を介して電極層に電氣的に接続される外部電極が形成されることを特徴とするマイクロアクチュエータである。また本発明は、前記圧電層が結晶で構成され、前記結晶の C 軸が圧電層の厚み方向に配向されていることを特徴とする。また本発明は、積層体が電気絶縁性の基板に固定され、基板に前記外部電極が接続される接続電極が設けられ、その接続電極にリード線が接続されることを特徴とする。また本発明は、前記圧電層が、 $0.1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ の範囲の厚さを有することを特徴とする。また本発明は、基板表面に、電

極層、圧電性および電歪性を有する圧電層、および電極層を順次蒸着し、圧電部材を作製する成膜工程と、2つの圧電部材を電極層が互いに対向するように接合する接合工程と、両端の2つの基板のうちの一方の基板を除去し、電極層を露出させ、積層した圧電部材を作製する基板除去工程とを備え、接合工程と基板除去工程とを繰返して、所定の積層数だけ積層させた圧電部材を得ることを特徴とするマイクロアクチュエータの製造方法である。また本発明は、圧電性および電歪性を有する圧電層と電極層とが交互に積層される積層体の側面に、互いに対向する一対の絶縁層を形成する絶縁層形成工程と、奇数番目の各電極層の一端部および偶数番目の各電極層の他端部に達する溝を、絶縁層の表面に複数形成するエッチング工程と、絶縁層の表面に、前記溝を介して電極層に電気的に接続される外部電極を形成する外部電極形成工程とを備えることを特徴とするマイクロアクチュエータの製造方法である。また本発明は、積層体が固定された電気絶縁性の基板に、前記外部電極が接続される接続電極を設け、接続電極にリード線を接続することを特徴とする。また本発明は、前記接合工程において、陽極接合法、表面活性化接合法、または接着剤接合法が用いられることを特徴とする。また本発明は、前記エッチング工程における溝の形成は、FIB法、ドライエッチング法またはウェットエッチング法によって行われることを特徴とする。

#### 【0007】

【作用】本発明に従えば、マイクロアクチュエータは、圧電性および電歪性を有する圧電層と、電極層とが交互に積層される積層体と、奇数番目の各電極層の一端部および偶数番目の各電極層の他端部に達する溝が形成される絶縁層と、外部電極とを備えて構成される。積層体の各電極層は、絶縁層に形成される溝を介して、両側の外部電極のいずれか一方に交互に接続される。

【0008】外部電極間に電圧が印加されると、積層体の互いに隣接する電極層間に、積層体の積層方向と平行な電場が生じ、この電場による作用によって圧電層が、厚み方向に伸び変位または縮み変位する。ここで、各電極層の両側に生じる電場は、互いに逆向きとなっている。

【0009】また本発明に従えば、圧電層が結晶で構成され、その結晶のC軸が圧電層の厚み方向、すなわち積層方向に配向されている。このため、各電極層間に電圧が印加された場合における圧電層の伸び変位率および縮み変位率を大きくすることができ、また圧電層が外力によって伸び変位または縮み変位された場合における互いに隣接する各電極間に生じる電位差を大きくすることができる。その結果、従来のマイクロアクチュエータに比べて、圧電特性および電歪特性に優れたマイクロアクチュエータを実現することができる。

【0010】電歪特性が向上すると、印加する駆動電圧

に対して、マイクロアクチュエータが伸び変位または縮み変位する大きさが大きくなるので、低電圧で駆動可能で厚みの薄い小形化に適したマイクロアクチュエータを実現することができる。

【0011】圧電特性が向上されると、マイクロアクチュエータがセンサとして用いられる場合、マイクロアクチュエータが伸び変位または縮み変位される大きさに対して、互いに隣接する各電極層間に生じる電位差が大きくなるので、厚みの薄い小形のマイクロアクチュエータで微小変位を高精度で検出することができる。

【0012】また本発明に従えば、積層体の各電極層は、外部電極および基板に設けられる接続電極を介して、リード線と電気的に接続される。したがって、リード線が接続電極に接続されるので、信頼性を向上させることができる。

【0013】また本発明に従えば、たとえばスパッタリング法を用いて圧電層を形成し、圧電層の厚さが $0.1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ の値に設定される。したがって、従来では数十 $\mu\text{m}$ 以上の厚さであった圧電層の厚さを、大幅に薄くすることができ、その結果、従来では数百ボルトであった駆動電圧を、大幅に小さく、たとえば数ボルトにすることができる。これによって、通常のICによってマイクロアクチュエータを駆動することができる。

【0014】また本発明に従えば、マイクロアクチュエータの製造工程は、蒸着によって基板表面に電極層および圧電層を形成し、圧電部材を作製する成膜工程と、2つの圧電部材を接合する接合工程と、基板を除去して電極層を露出させる基板除去工程とを備える。接合工程と基板除去工程とが繰返されることによって、圧電層と電極層とが交互に所定の積層数だけ積層された圧電部材が得られる。

【0015】したがって、蒸着によって圧電層および電極層を形成するので、従来のグリーンシート法に比べて圧電層および電極層の厚さを大幅に薄くすることができる。電極層の厚さを薄くすることによって、マイクロアクチュエータの厚さを薄くすることができる。

【0016】また成膜工程で形成された厚みの薄い圧電層および電極層を、接合工程と基板除去工程とを繰返すことによって所定の積層数に積層するので、従来よりも厚みの薄い圧電層および電極層によってマイクロアクチュエータを形成することができる。

【0017】また本発明に従えば、マイクロアクチュエータの製造工程は、積層体の側面に、互いに対向する一対の絶縁層を形成する絶縁層形成工程と、積層体に含まれる奇数番目の各電極層の一端部および偶数番目の各電極層の他端部に達する溝を絶縁層の表面に複数形成するエッチング工程と、絶縁層の表面に、外部電極を形成する外部電極形成工程とを備えて構成される。

【0018】したがって、積層体の側面に絶縁層を形成した後、その電極層に溝を形成するので、従来の筋状の

絶縁体を形成する場合に比べて作業を、高精度で、かつ簡単に行うことができ、その結果、マイクロアクチュエータの製造工程の簡略化および歩留りの向上を図ることができる。

#### 【0019】

【実施例】図1は、本発明の一実施例のマイクロアクチュエータ41の構成を示す斜視図である。マイクロアクチュエータ41は、圧電層24と電極層33a、33bとが交互に積層される積層体32と、絶縁層36、37と、外部電極42、43と、基板1とを備えて構成される。基板1表面に形成された接続電極42a、43aには、ワイヤーボンディングなどによってリード線44、45が接続されている。

【0020】積層体32の側面には、互いに対向するように一対の絶縁層36、37が形成される。図1における左側の絶縁層36には、奇数番目の絶縁層33aの図1における左側端部に達する溝36aが複数形成され、図1における右側の絶縁層37には、偶数番目の電極層33bの図1における右側端部に達する溝37aが複数形成される。絶縁層36、37の表面に形成される外部電極42、43は、溝36a、37aを介して電極層33a、33bに導通する。

【0021】外部電極42、43の図1における下端部は、基板1の表面に形成される接続電極42a、43aと連なっており、本実施例では外部電極42、43と接続電極42a、43aとは一体に形成される。両端部の電極層33a、33bは、単一の電極23で構成され、両側を圧電層24で挟まれた各電極層33a、33bは、2つの電極23と2つの接合層22とを備えて構成される。

【0022】マイクロアクチュエータ41の製造工程を説明する。

【0023】図2は、基板1の表面に電極23、圧電層24、および接合層22を形成する成膜工程を示す図である。図3は、図2の成膜工程で作製された圧電部材21の構成を示す斜視図である。図1の成膜工程では、RF (radio frequency) マグネトロンスパッタ法が用いられる。基板1と、ターゲット2との間に、RF電源8によって高周波電圧を印加し、アルゴンプラズマを発生させ、アルゴンイオン3aでターゲット2をスパッタし、ターゲット2を構成する原子または分子2aを基板1表面に蒸着する。

【0024】基板1は、ヒータ7によって蒸着に適した温度に設定されている。永久磁石4は、基板1とターゲット2との間に発生する電場と直交する磁場を発生させ、これによって、アルゴンプラズマがターゲット2の近傍に閉じ込められ、スパッタ効率が高くなっている。スパッタ室3内に充填されたアルゴンガスは、供給口5を介して供給され、排出口6を介して排出される。

【0025】ターゲット2は、取換可能になっており、

基板1の表面に所望とする膜が形成される毎に取換えられる。基板1の表面には、図3に示されるように、電極23、圧電層24、電極23、接合層22の順に蒸着され、圧電部材21が形成される。

【0026】基板1は、酸化マグネシウム、チタン酸ストロンチウム、アルミナ、サファイアなどの単結晶から構成される。電極23は、白金、アルミニウム、金、銀などを材料にして形成される。本実施例では、電極23は、後述する基板除去工程におけるエッチング処理の際の耐エッチング性に優れた白金によって形成されている。圧電層24は、PZTやPLZTなどの圧電性および電歪性を有する材料で形成される。接合層22は、ガラスまたはシリコンを材料として形成される。

【0027】圧電層24の厚さは、 $0.1\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ の値に設定される。電極22の厚さは、数百オングストローム～数千オングストロームの値に設定される。接合層22の厚さは、 $0.1\mu\text{m} \sim$ 数 $\mu\text{m}$ の厚さに設定される。

【0028】圧電層24は、蒸着によって形成されるので、結晶で構成されており、その結晶のC軸は、圧電層24の厚み方向に配向されている。

【0029】図4は、圧電部材21aと圧電部材21bとを陽極接合法によって接合する接合工程を示す図である。なお、ここでは図4における下側の圧電部材21aの各構成要素は符号に添字aを付けて示し、上側の圧電部材21bの各構成要素は符号に添字bを付けて示す。

【0030】まず、下側の圧電部材21aを、導電性を有するホットプレート27上に載置し、銀ペースト28を塗布して、接合層22aとホットプレート27とを電気的に接続する。次に、上側の圧電部材21bを、接合層22bと接合層22aとが対向するようにして下側の圧電部材21aに密着させる。このとき、上側の接合層22bはシリコンで形成され、下側の接合層22aはガラスで形成されているものとする。また、接合層22aおよび22bの互いに対向する面は、鏡面状に研磨されていることが好ましい。

【0031】このように圧電部材21aおよび21bが密着されると、上側の圧電部材21bの基板1bに電極26が当接され、電極26とホットプレート27との間に200～1000ボルトの電圧が印加される。このとき印加される電圧は、電圧の印加によって生じる電場が、シリコンによって形成される接合層22bからガラスによって形成される接合層22aの方向へ向くように与えられる。電圧の印加と平行して、接合層22a、22bの温度が、たとえば400℃になるようにホットプレート27による加熱が行われる。

【0032】このように電圧の印加と加熱とを行うと、接合層22aを形成するガラスに含まれるナトリウムイオンが、電場の作用によって接合層22aの接合層22bと対向しない側の表面に移動し、ガラス中に残った多

量の負イオンが接合層 22a の接合層 22b と対向する表面に移動して空間電荷層を形成する。その結果、接合層 22a と接合層 22b との間に強い吸引力が生じ、接合層 22a と接合層 22b とが化学結合される。

【0033】図 5 は、基板 1b を除去する基板除去工程を示す図である。前述の図 4 の接合工程によって、2 つの圧電部材 21a, 21b が接合されると、電極 23a, 23b および圧電層 24a, 24b などが積層されて成る積層体 32 の両端部に、基板 1a, 1b があるので、さらに図 4 の接合工程を行うためには、2 つの基板 1a, 1b のうちのいずれか一方を除去して、電極 23a または 23b を露出させる必要がある。基板 1b の除去は、研磨によって基板 1b をあらかじめ取除いた後、研磨によって取残した基板 1b をエッチング処理によって完全に除去する。ここでは基板 1b を取除いたが、基板 1b の代わりに基板 1a を取除いてもよい。

【0034】基板 1b を、図 5 の基板除去工程で除去すると、図 4 の接合工程を行ってさらに積層を行う場合には、露出された電極 23b の表面に前述の接合層 22 と同様な接合層が形成される。このように接合層が形成された圧電部材 31 を用いて、図 4 の接合工程を行うことによって、積層体 32 の積層数を、さらに増加することができる。

【0035】図 4 の接合工程と図 5 の基板除去工程とを繰返すことによって、図 6 に示されるように、積層体 32 を、所定の積層数まで積層することができる。図 4 の接合工程では、劈開またはダイヤモンドカットによる切断によって複数に分割された圧電部材 21, 31 同士を接合してもよい。また、圧電部材 21 と圧電部材 31 とを接合してもよい。

【0036】このようにして積層が行われると、電極層 33a, 33b と圧電層 24 とが交互に所定の積層数だけ積層された積層体 32 を得ることができる。積層体 32 の両端部、すなわち図 6 における上下方向の端部は、単一の電極 23 から成る電極層 33a, 33b となっている。各圧電層 24 の間に介在される電極層 33a, 33b は、2 つの電極 23 の間に 2 つの接合層 22 が介在された構成となっている。積層体 32 の上端部の基板は、取除かれているが、下端部の基板 1 は取除かれずに保存されている。本実施例では、積層体 32 の積層数は、圧電層 24 が 100 層になるように設定されている。

【0037】図 7 は、積層体 32 の側面に絶縁層 36, 37 を形成する絶縁層形成工程を示す図である。二酸化ケイ素やガラスなどの材料から成る一対の絶縁層 36, 37 は、積層体 32 の側面に、互いに対向するようにして形成される。絶縁層 36, 37 は、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法またはスパッタ法によって形成される。絶縁層 36, 37 の厚さは、数百オングストロームから数千オングストロームの値に設定される。

【0038】図 8 は、絶縁層 36, 37 に溝 36a, 37a を形成するエッチング工程を示す図である。絶縁層 36 に形成される複数の溝 36a は、奇数番目の各電極層 33a の一端部、図 8 では左端部が露出するように形成される。絶縁層 37 に形成される複数の溝 37a は、偶数番目の各電極層 33b の他端部、図 8 では右端部が露出するように形成される。絶縁層 36, 37 の溝 36a, 37a の形成は、FIB (Focused Ion Beam) 法によって行われる。

【0039】図 1 を参照して、エッチング工程が行われると、各絶縁層 36, 37 の表面に外部電極 42, 43 を形成する外部電極形成工程が行われる。白金、アルミニウムおよび銀などから成る外部電極 42, 43 が形成されると、外部電極 42, 43 は溝 36a, 37a に嵌まり込み、各電極層 33a, 33b の電極 23 と電気的に導通する。これによって、奇数番目の電極層 33a は、図 1 における左側の外部電極 42 に接続され、偶数番目の電極層 33b は、図 1 における右側の外部電極 43 に接続される。外部電極 42, 43 は、斜めスパッタ法によって形成され、基板 1 表面に形成される接続電極 42a, 43a と一体にして形成される。

【0040】接続電極 42a, 43a には、それぞれワイヤーボンディングなどによってリード線 44, 45 が接続される。

【0041】このように構成されたマイクロアクチュエータ 41 において、リード線 44, 45 を介して外部電極 42, 43 間に、電圧が印加されると、互いに隣接する電極層 33a, 33b 間に電位差が生じる。各電極層 33a, 33b は両側の外部電極 42, 43 のいずれか一方に交互に接続されるので、各電極層 33a, 33b の図 1 における上側に生じる電場と下側に生じる電場とは互いに逆向きとなる。このように電圧の印加によって電場が生じると、互いに隣接する圧電層 24 同士では、圧電特性および電歪特性が逆向きとなるように圧電層 24 が積層されているので、全ての圧電層 24 が縮み変位し、または伸び変位し、これに伴って積層体 32 の全体の厚さが変化する。

【0042】たとえば、数ボルトの電圧を印加した場合、積層体 32 の全体の厚さが 0.1 パーセントから数パーセントの間で変化する。圧電層 24 の積層数が 100 層となるように積層すると、積層体 32 の全体の厚さは 0.2 から 0.3 mm であるので、数ボルトの電圧印加で、積層体 32 の厚さは 0.2  $\mu$ m から 2  $\mu$ m だけ変位する。

【0043】マイクロアクチュエータ 41 に外力が与えられ、積層体 32 が積層方向に押しつぶされたり引伸ばされたりすると、これに伴って各圧電層 24 が縮み変位または伸び変位し、その結果、各電極層 33a, 33b 間に電位差が生じる。この電位差をリード線 44, 45 を介して検出することによって、マイクロアクチュエー

タ 4 1 に与えられている外力の大きさや、積層体 3 2 の縮み変位または伸び変位の大きさを検知することができる。

【0044】したがって、マイクロアクチュエータ 4 1 の各圧電層 2 4 は、成膜工程による蒸着によって形成されるので、従来では数十  $\mu\text{m}$  以上であった厚さを 0.1  $\mu\text{m}$  ~ 10  $\mu\text{m}$  の値にすることができる。その結果、従来では数百ボルトであった駆動電圧を、大幅に小さく、たとえば数ボルトにすることができる。これによって、マイクロアクチュエータ 4 1 の駆動が、通常の IC で可能となり、マイクロアクチュエータ 4 1 の制御が容易になる。

【0045】また、電極 2 3 および接合層 2 2 も成膜工程による蒸着によって形成されるので、従来のようにグリーンシートに導電ペーストを塗布して電極層を構成する方法に比べて、電極層 3 3 a, 3 3 b の厚さを薄くすることができ、その結果、マイクロアクチュエータ 4 1 の厚さを薄くすることができる。また、1 層当たりの圧電層 2 4 の厚さは薄いのであるが、図 4 の接合工程および図 5 の基板除去工程を繰返すことによって、所望の

数だけ圧電層 2 4 を積層することができる。

【0046】また、圧電層 2 4 が結晶で構成され、その結晶の C 軸が圧電層 2 4 の厚み方向、すなわち積層方向に配向されているので、各電極層 3 3 a, 3 3 b 間に電圧が印加された場合における圧電層 2 4 の伸び変位率および縮み変位率を大きくすることができ、また圧電層 2 4 が外力によって伸び変位または縮み変位された場合における各電極層 3 3 a, 3 3 b 間に生じる電位差を大きくすることができる。その結果、従来のマイクロアクチュエータに比べて、電歪特性および圧電特性に優れたマイクロアクチュエータを実現することができる。

【0047】電歪特性が向上すると、印加する駆動電圧に対して、マイクロアクチュエータ 4 1 が伸び変位または縮み変位する大きさが大きくなるので、低電圧で駆動可能で、厚みの薄い小形化に適したマイクロアクチュエータ 4 1 を実現することができる。

【0048】圧電特性が向上されると、マイクロアクチュエータ 4 1 が加速度センサなどに用いられた場合、マイクロアクチュエータが伸び変位または縮み変位される大きさに対して、互いに隣接する各電極層 3 3 a, 3 3 b 間に生じる電位差が大きくなるので、厚みの薄い小形のマイクロアクチュエータ 4 1 で微小変位を高精度で検出できる。

【0049】また、積層体 3 2 の側面に絶縁層 3 6, 3 7 を形成した後、絶縁層 3 6, 3 7 に溝 3 6 a, 3 7 a を形成するので、従来の筋状の絶縁体を形成する場合に比べて、作業を高精度で、かつ簡単に行うことができ、その結果、マイクロアクチュエータ 4 1 の製造工程の簡略化および歩留りの向上を図ることができる。

【0050】また、リード線 4 4, 4 5 は、基板 1 表面

に形成された接続電極 4 2 a, 4 3 a に接続されるので、リード線 4 4, 4 5 を外部電極 4 2, 4 3 が積層体 3 2 の側面に対向する部分に接続する場合に比べて、積層体 3 2 の伸び変位または縮み変位によってリード線 4 4, 4 5 が剥離してしまうようなことがなく、リード線 4 4, 4 5 の接続状態の信頼性を向上することができる。

【0051】また、図 4 の接合工程には陽極接合法が用いられるので、厚さの薄い接合層 2 2 を形成することによって接合を行うことができ、マイクロアクチュエータ 4 1 の厚みを厚くすることなく、積層体 3 2 を積層することができる。

【0052】また、図 8 のエッチング工程では FIB 法が用いられるので、収束イオンビームが照射される部分から放射される 2 次電子を電子レンズなどによって捕獲し、視角化することによって、収束イオンビームが照射される部分を確認しながら溝 3 6 a, 3 7 a を形成することができる。その結果、正確な位置に、溝 3 6 a, 3 7 a を形成することができる。

【0053】なお上述の実施例では、2 つの圧電部材 2 1, 3 1 の接合に、陽極接合法を用いたが、表面活性化接合法または接着剤接合法が用いられてもよい。

【0054】また、上述の実施例では、図 8 のエッチング工程において FIB 法を用いたが、RIE 法などのドライエッチング法、またはウェットエッチング法を用いてもよい。

【0055】また、上述の実施例では図 2 の成膜工程で、RF マグネトロンスパッタ法を用いたが、CVD 法を用いてもよい。

【0056】また上述の実施例では、積層体 3 2 の片側の基板 1 を除去せずに残し、その基板 1 に接続電極 4 2 a, 4 3 a を形成したが、基板 1 を残さずに除去してもよい。接続電極 4 2 a, 4 3 a を形成するための基板が必要である場合には、新たな基板を積層体 3 2 の一端部に接続すればよい。

【0057】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、蒸着によって圧電層および電極層を形成するので、圧電層および電極層の厚さを大幅に薄くすることができる。圧電層の厚さを薄くすることによって、従来では数百ボルトであった駆動電圧を、大幅に小さく、たとえば数ボルトにすることができる。電極層の厚さを薄くすることによって、マイクロアクチュエータの厚さを薄くすることができる。

【0058】また、圧電層が結晶で構成され、その結晶の C 軸が圧電層の厚み方向に配向されているので、圧電層の結晶性を向上することができる。その結果、電歪特性および圧電特性に優れたマイクロアクチュエータを実現することができる。

【0059】また、成膜工程で形成された厚さの薄い圧

11

電層および電極層を、接合工程と基板除去工程とを繰返すことによって所定の積層数に積層するので、従来よりも厚さの薄い圧電層および電極層によって積層体を形成することができる。

【0060】また、絶縁層を形成した後、その絶縁層に溝を形成するので、従来に比べて作業を高精度で、かつ簡単に行うことができ、その結果、マイクロアクチュエータの製造工程の簡略化および歩留りの向上を図ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例のマイクロアクチュエータ41の構成を示す斜視図である。

【図2】基板1表面に電極23、圧電層24および接合層22を形成する成膜工程を示す図である。

【図3】成膜工程によって形成された圧電部材21の構成を示す斜視図である。

【図4】陽極接合法によって2つの圧電部材21a、21bを接合する接合工程を示す図である。

【図5】基板1bを除去する基板除去工程を示す図である。

【図6】積層体32が所定の積層数だけ積層された状態を示す図である。

【図7】絶縁層36、37を形成する絶縁層形成工程を示す図である。

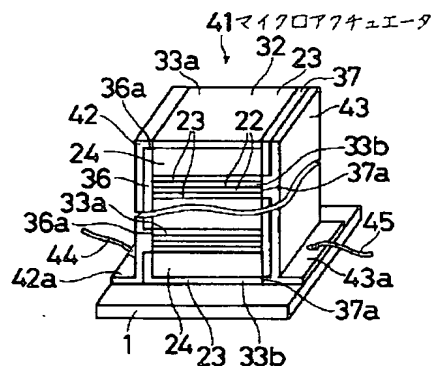
12

【図8】絶縁層36、37に溝36a、37aを形成するエッチング工程を示す図である。

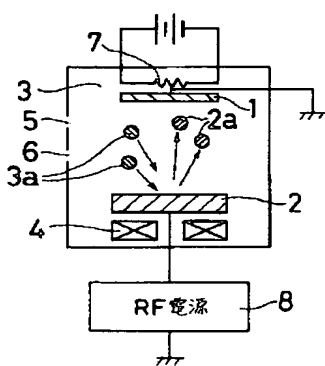
#### 【符号の説明】

- |           |                  |         |
|-----------|------------------|---------|
| 1, 1a, 1b | 基板               |         |
| 2         | ターゲット            |         |
| 3         | スパッタ室            |         |
| 4         | 永久磁石             |         |
| 7         | ヒータ              |         |
| 8         | RF電源             |         |
| 10        | 21, 21a, 21b, 31 | 圧電部材    |
|           | 22, 22a, 22b     | 接合層     |
|           | 23, 23a, 23b     | 電極      |
|           | 24, 24a, 24b     | 圧電層     |
|           | 26               | 電極      |
|           | 27               | ホットプレート |
|           | 28               | 銀ペースト   |
|           | 32               | 積層体     |
|           | 33a, 33b         | 電極層     |
|           | 36, 37           | 絶縁層     |
| 20        | 36a, 37a         | 溝       |
|           | 42, 43           | 外部電極    |
|           | 42a, 43a         | 接続電極    |
|           | 44, 45           | リード線    |

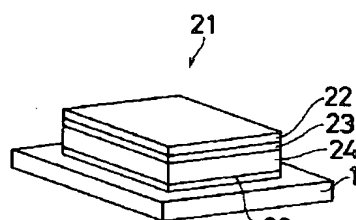
【図1】



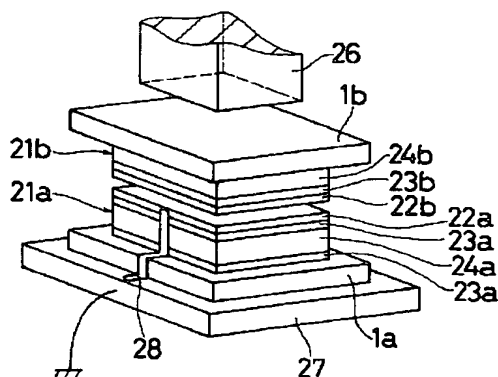
【図2】



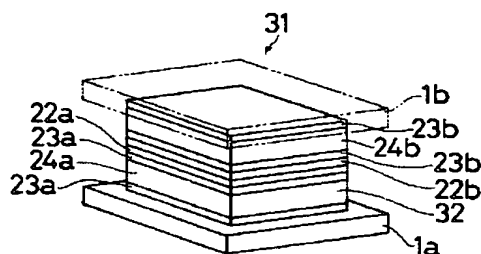
【図3】



【図4】

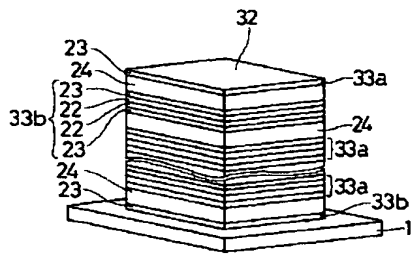


【図5】

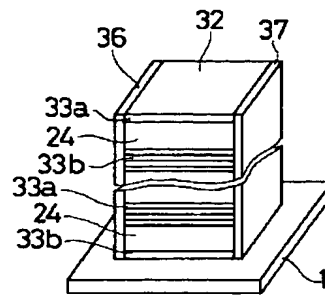




【図 6】



【図 7】



【図 8】

